



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



DIPARTIMENTO  
DI GEOSCIENZE

**CORSO DI LAUREA IN  
SCIENZE GEOLOGICHE**

**Anno accademico 2018/2019**

**STUDIO DELL'ORIENTAZIONE  
CRISTALLOGRAFICA DI INCLUSIONI  
DI QUARZO IN GRANATI  
DI GRANULITI FELSICHE**

**Laureanda: Manal Makdoud**

**Relatore: Prof. Bernardo Cesare  
Correlatore: Dott. Luca Peruzzo**

# Obiettivo dello studio

- Sono le forme delle inclusioni dettate dal cristallo ospite?
- Sono le orientazioni cristallografiche dei cristalli di quarzo parallele o casuali?

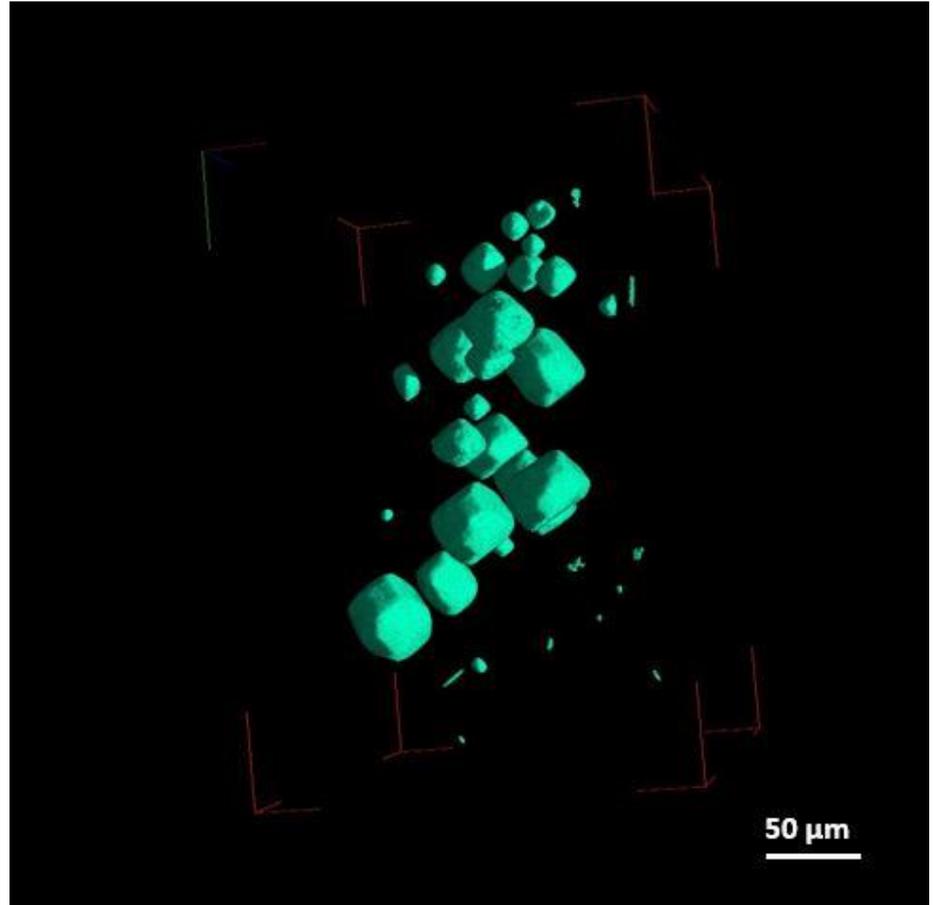


Immagine 3D con microtomografia al sincrotrone di inclusioni di quarzo in un cristallo di granato

# Inclusioni di quarzo in granati

Sono stati studiati due campioni

- Inclusioni solide disposte al nucleo dei granati
- Inclusioni primarie
- Cristalli negativi

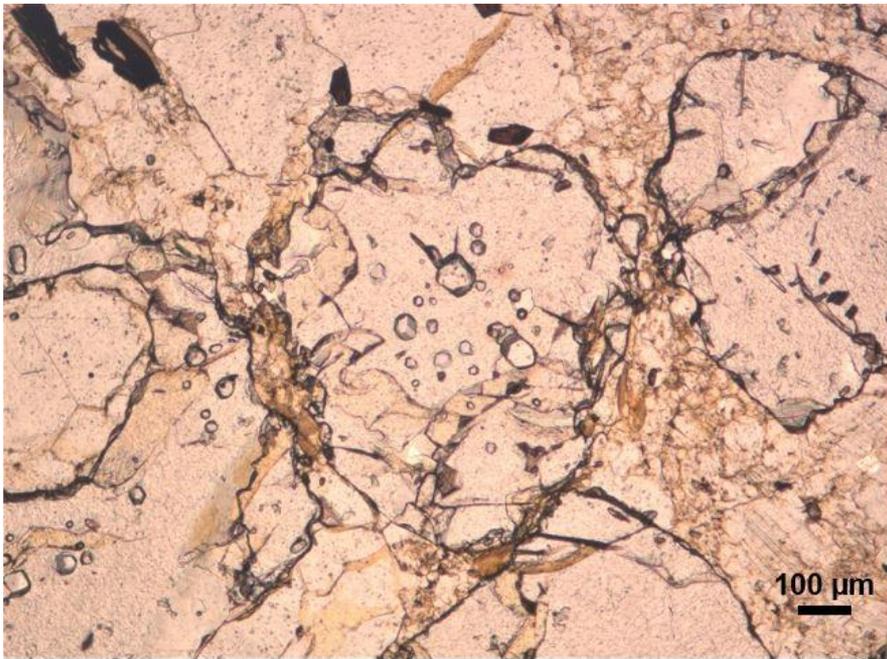


Foto al microscopio ottico a luce trasmessa di un cristallo granato del campione 05G-019B

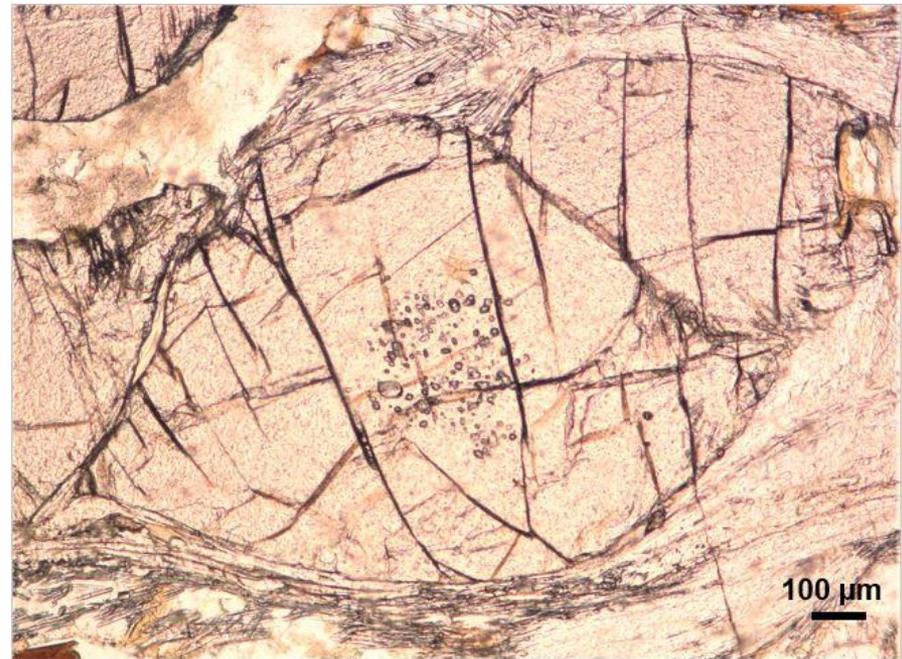
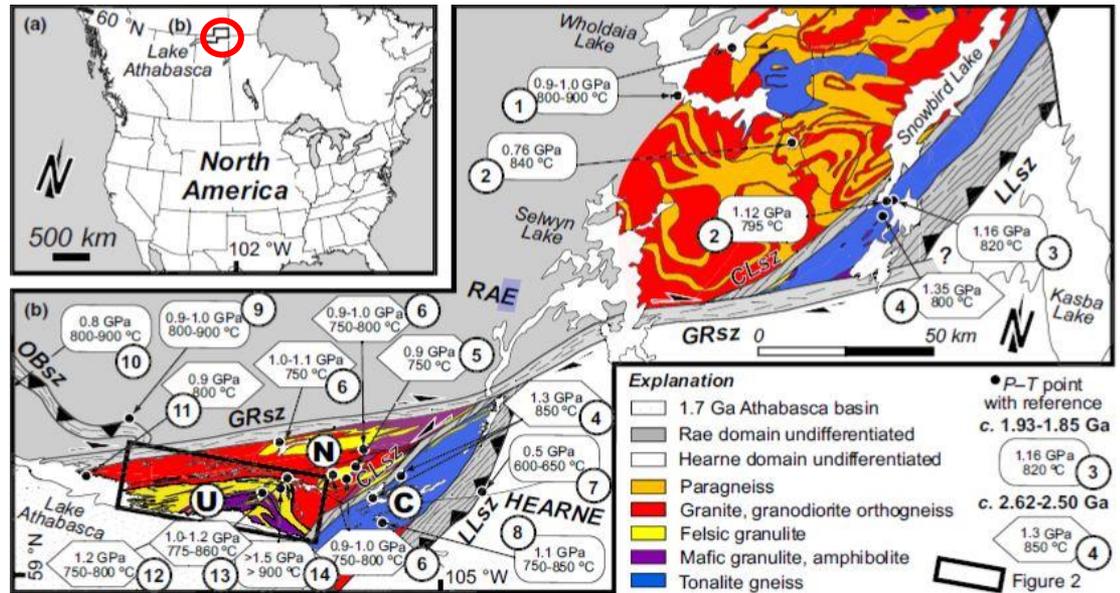


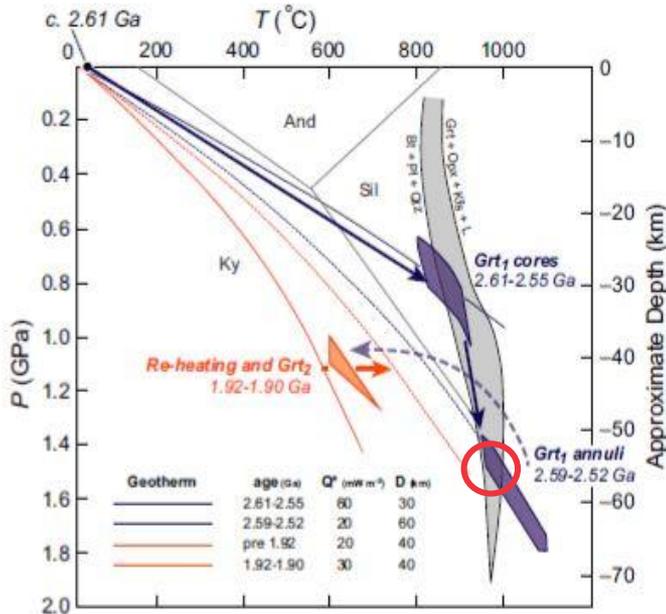
Foto al microscopio ottico a luce trasmessa di un cristallo granato del campione NA10

# Campione 05G-019B – Inquadramento geologico

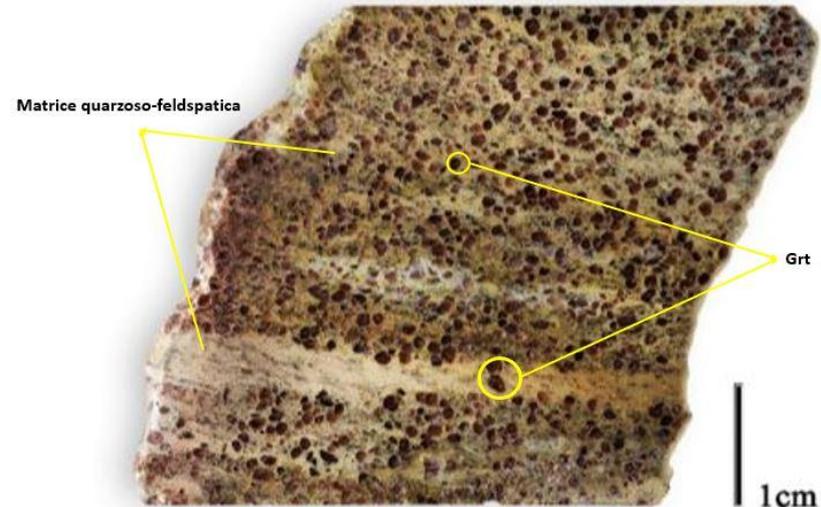
- Athabasca Granulite Terrane (Canada)
- Metamorfismo di ultra alta temperatura: 950°C, 1.4 GPa, 2.8 - 2.5 Ga



Tacchetto et al. (2018)



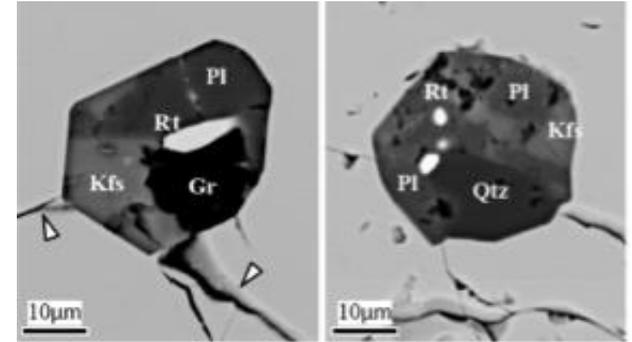
Dumond et al. (2015)



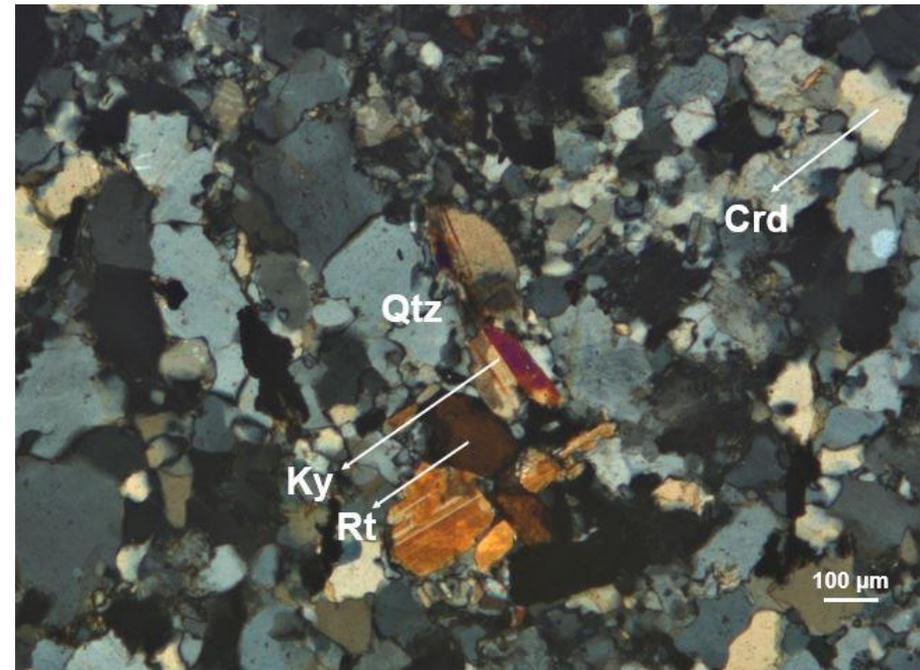
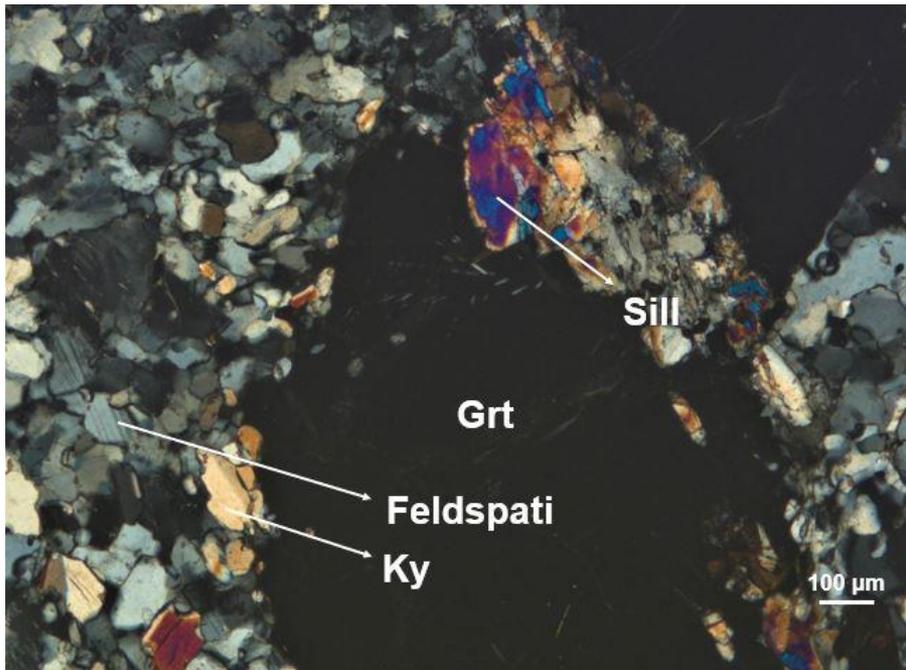
Tacchetto et al. (2018)

# Campione 05G-019B – Descrizione litologica

- Struttura foliata, eteroblastica
- Evidenze fusione parziale: inclusioni di nanograniti nel granato
- Minerali principali: quarzo, granato, feldspati, sillimanite, cianite, biotite
- Minerali accessori: rutilo, apatite, monazite, grafite



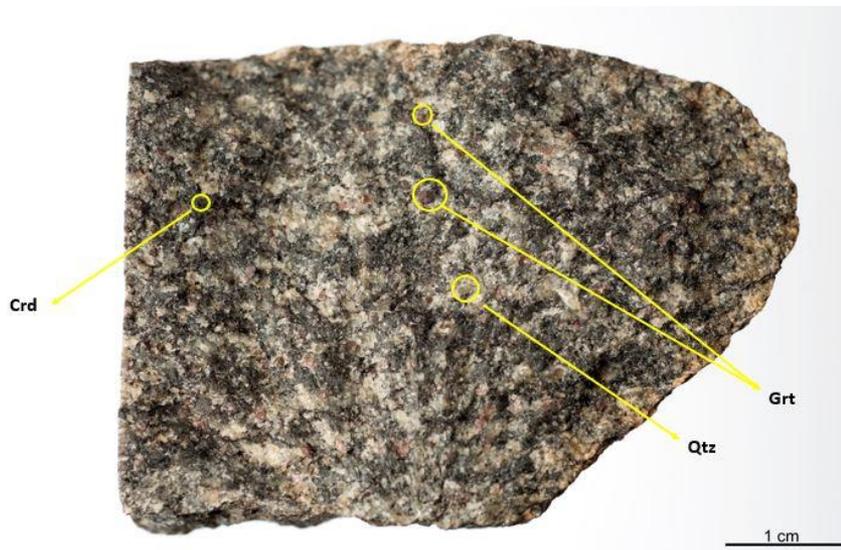
Tacchetto et al. (2018)



# Campione Na10 – Inquadramento geologico

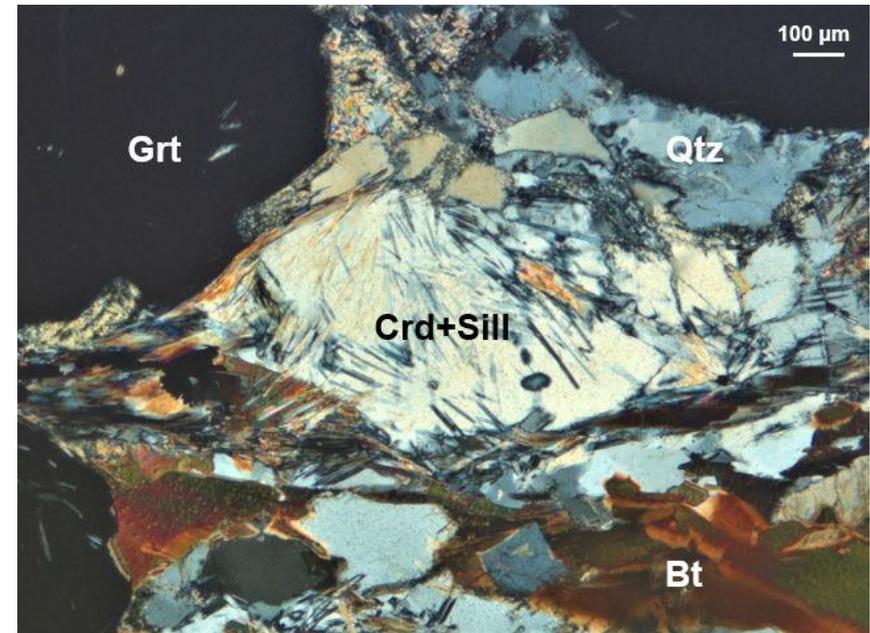
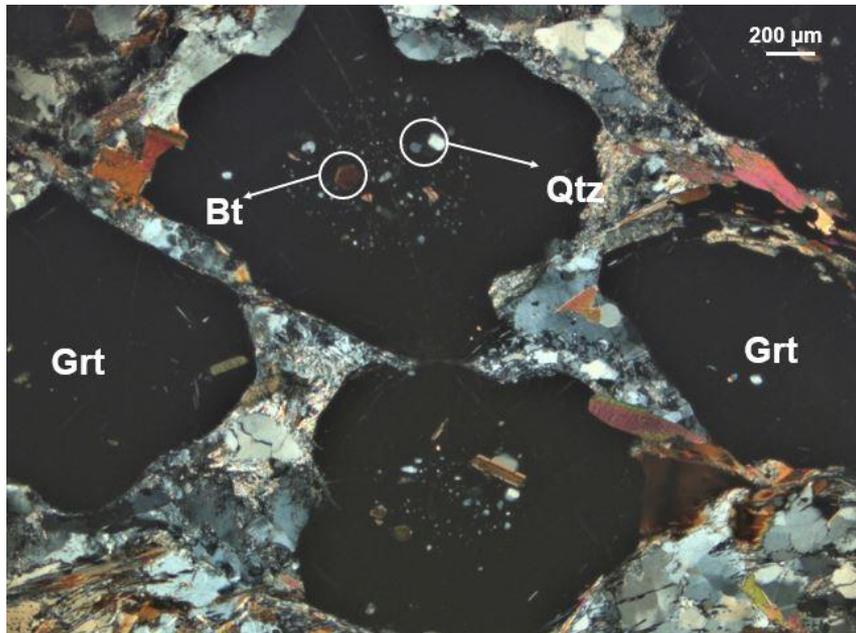
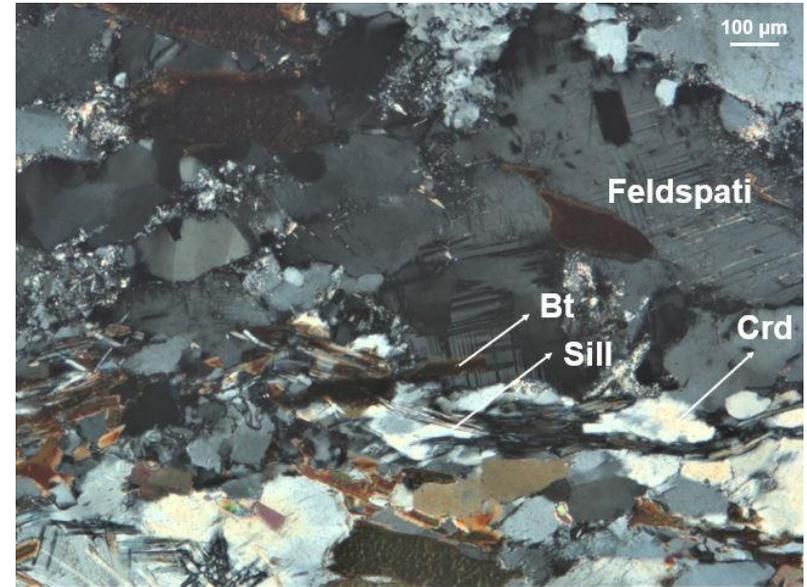


- Aus granulite terrain (Namibia): forma parte della Namaqua metamorphic complex (Garub sequence)
- Gneiss metapelitici e metapsammitici con subordinate quarziti, granuliti mafiche ed ironstone
- Condizioni metamorfiche: 825°C, 0.5 GPa 1.065 - 1.045 Ga
- Festung inselberg



# Campione NA10 – Descrizione litologica

- Struttura foliata, eteroblastica
- Minerali principali: granato, cordierite, sillimanite, biotite
- Minerali accessori: rutilo, ilmenite



# Tecniche utilizzate

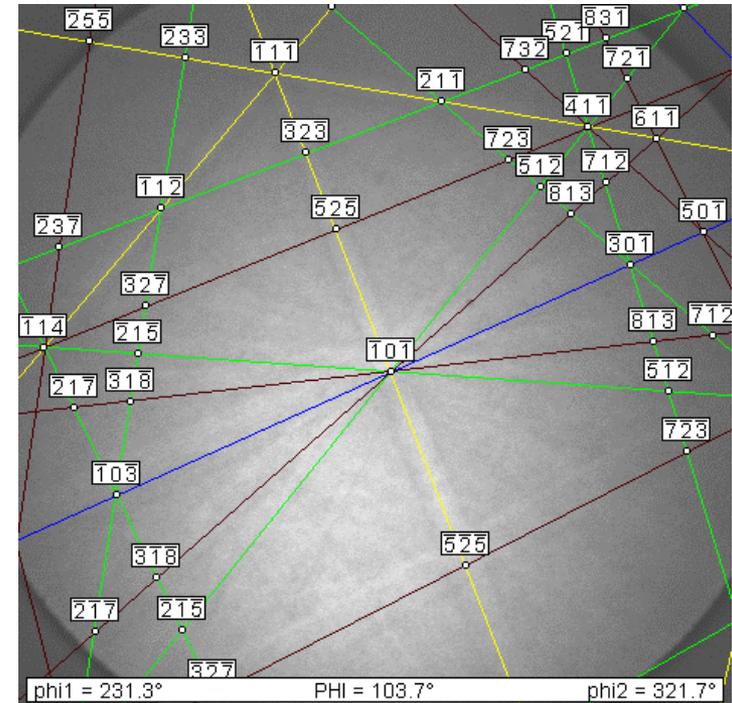
- Microscopia ottica a luce trasmessa e riflessa
- Microscopia elettronica a scansione ad elettroni retrodiffusi (SEM-BSE)
- Microscopia elettronica a scansione con diffrazione da elettroni retrodiffusi (SEM-EBSD)



Microscopio ottico



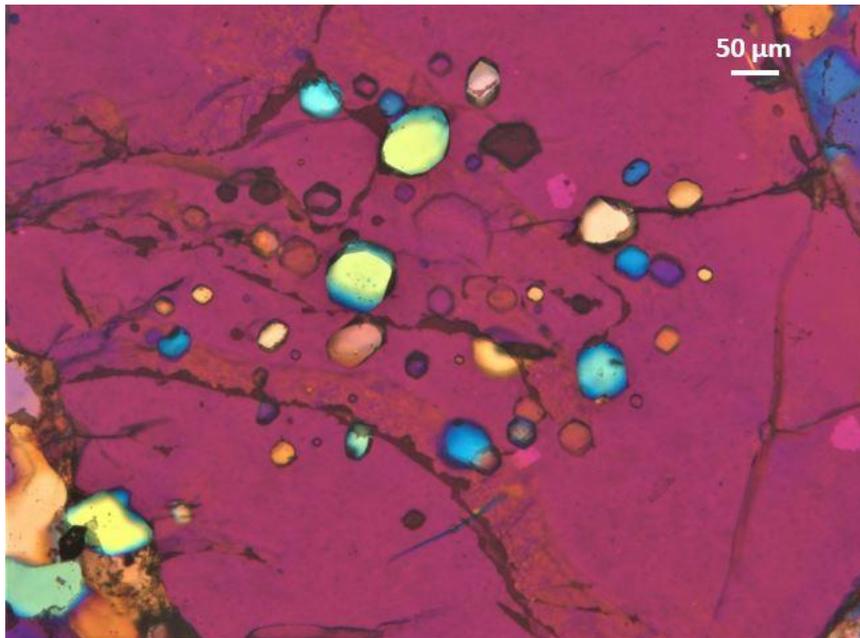
Laboratorio di microscopia elettronica a scansione



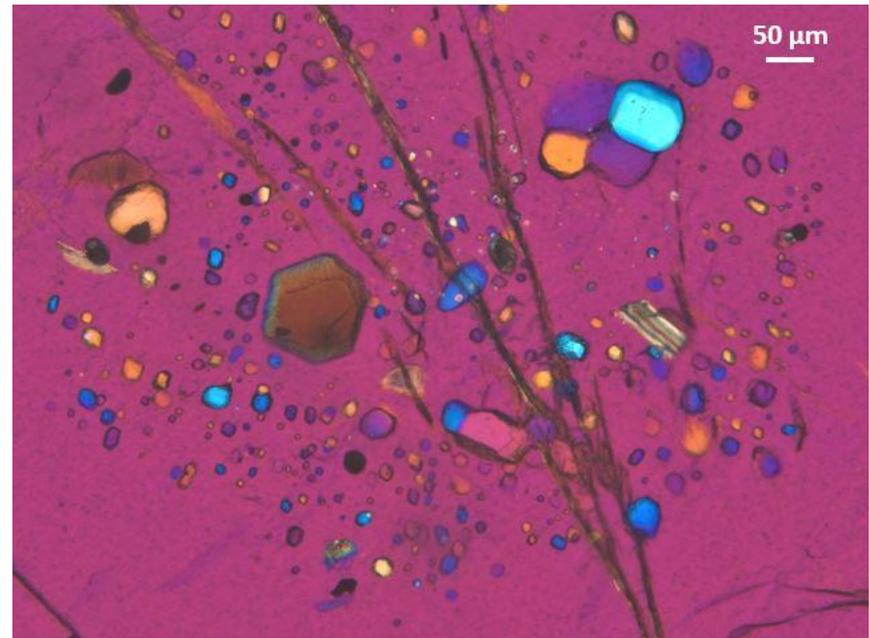
Esempio di un pattern da EBSD indicizzato

# Analisi al microscopio ottico

- Analisi al microscopio ottico a luce trasmessa con polarizzatori incrociati a ritardo fisso
- Dimensioni medie delle inclusioni nel campione 05G-019B: da 70  $\mu\text{m}$  a 20  $\mu\text{m}$  ca
- Dimensioni medie delle inclusioni nel campione NA10: da 100  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$  ca
- La differenza dei colori di interferenza dei quarzi suggerisce qualitativamente che non vi sia iso-orientazione degli stessi



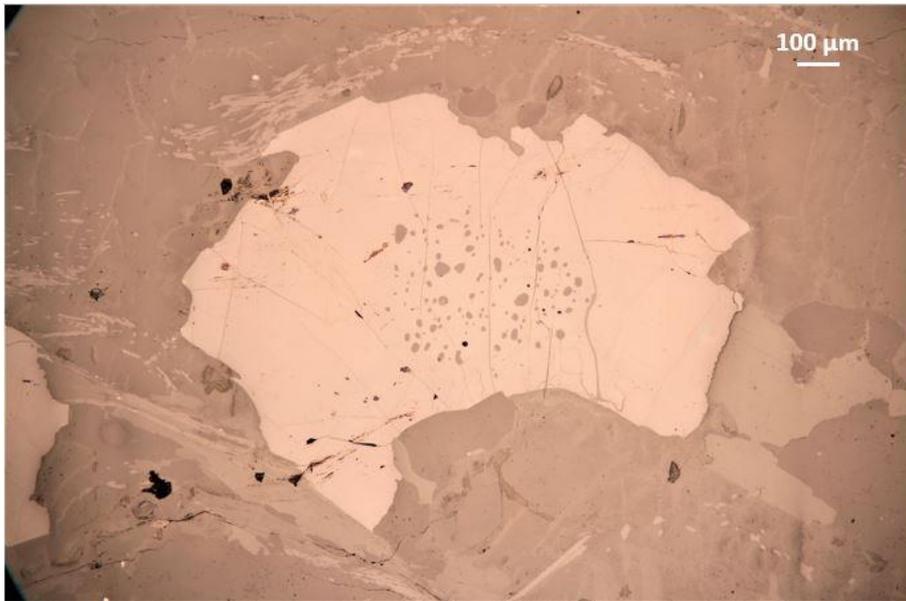
Campione 05G-019B



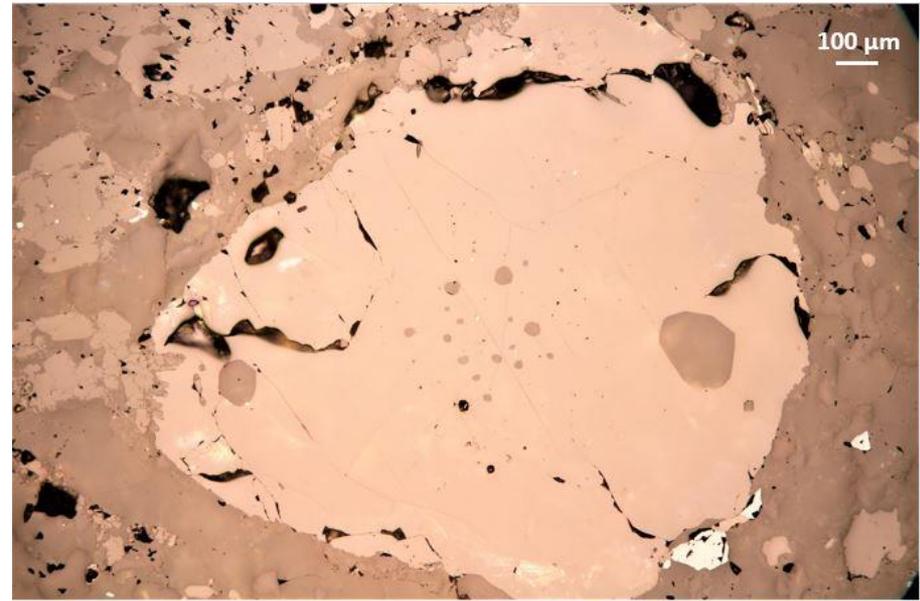
Campione NA10

# Granati studiati

- Composizione chimica dei granati del campione 05G-019B:  $\text{Alm}_{61-64}\text{Sps}_1\text{Grs}_{4-9}\text{Prp}_{30-33}$
- Composizione chimica dei granati del campione NA10:  $\text{Alm}_{83-85}\text{Sps}_{2-3}\text{Grs}_2\text{Prp}_{10-13}$
- Foto al microscopio ottico a luce riflessa
- Scopo: localizzazione dei granati più idonei alla caratterizzazione quantitativa al SEM



Granato 3 – Campione 05G-019B

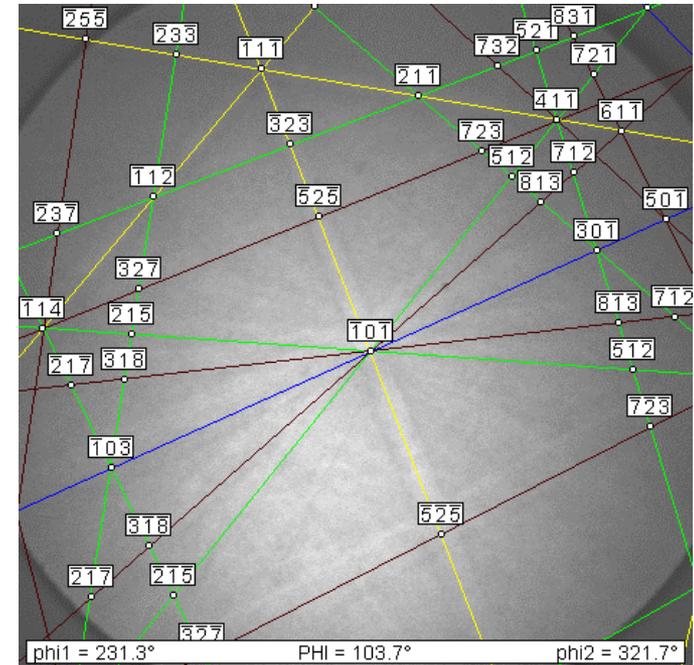
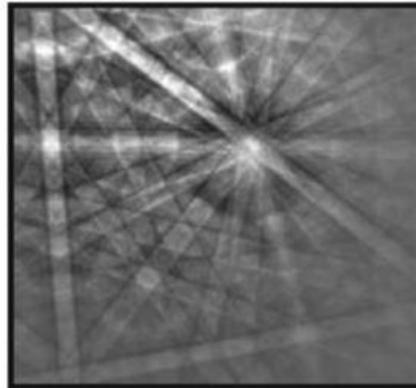
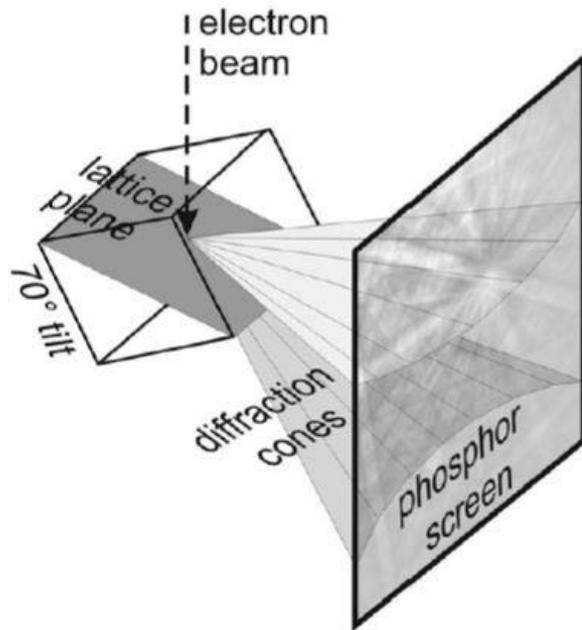


Granato 2 – Campione NA10

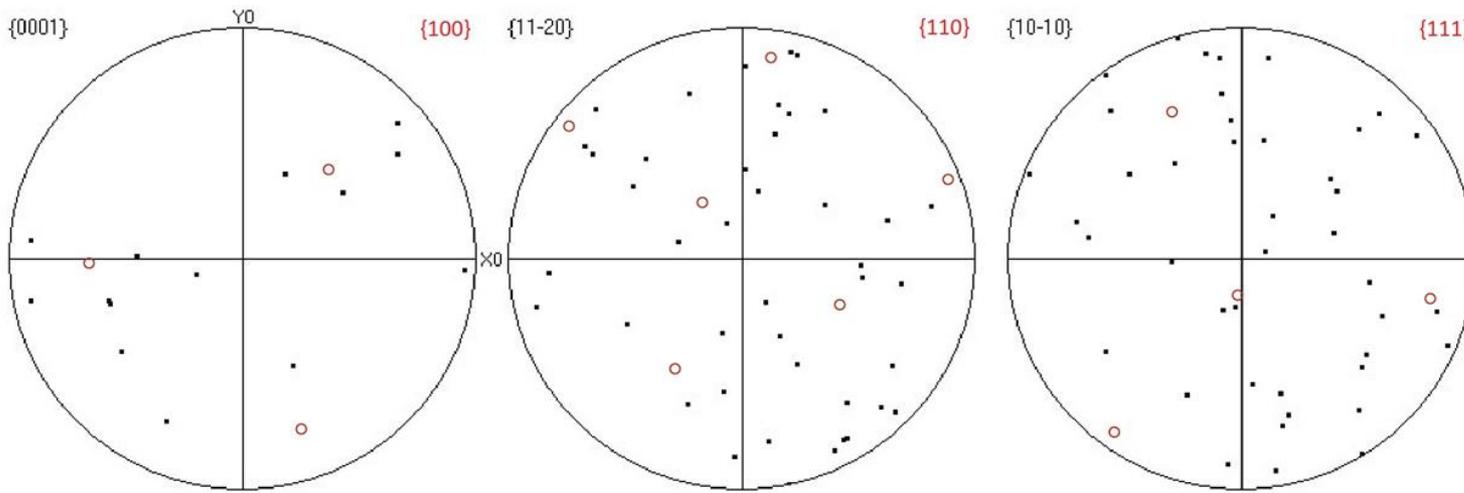
# Analisi SEM-EBSD

## LA TECNICA

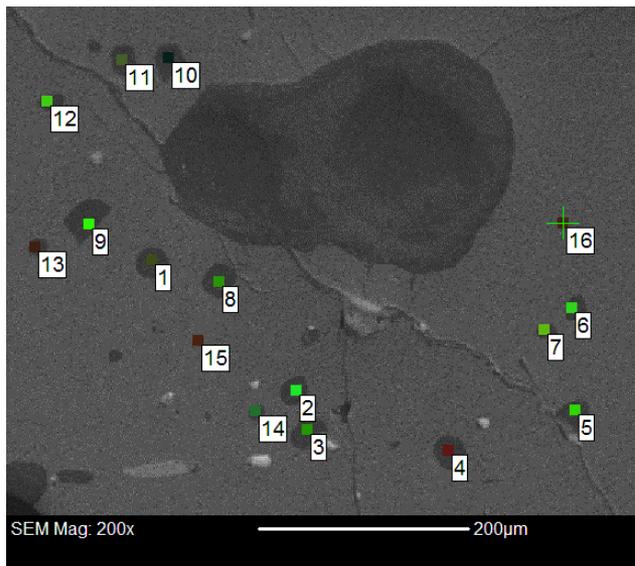
Quando il campione viene colpito da un fascio elettronico ad alta energia, gli elettroni retrodiffusi possono dare luogo alla diffrazione che verrà captata da un apposito detector costituito da uno schermo al fosforo. Il risultato è un pattern di diffrazione di elettroni retrodiffusi che verrà successivamente indicizzato in modo da acquisire dati sull'orientazione cristallografica dei cristalli in studio.



# Analisi SEM-EBSD

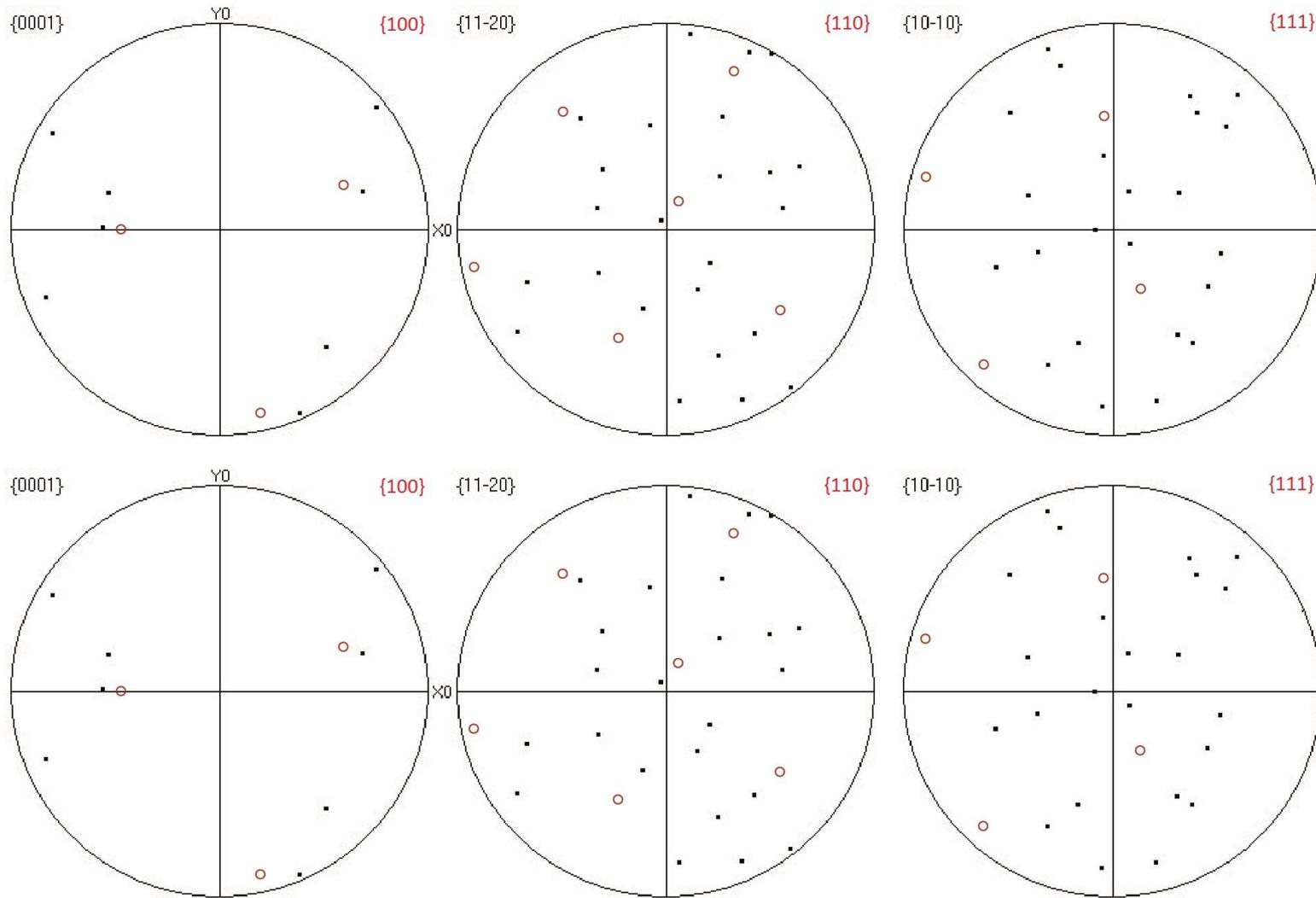


Pole Figures
[9.cpr]
Quartz-new (-3m)
Complete data set
14 data points
Equal Area projection
Upper hemispheres



- Immagine in alto: esempio di figure polari degli assi cristallografici del granato 9 (rosso) e delle inclusioni di quarzo (nero) del campione 05G-019B
- Immagine in basso: foto al microscopio elettronico con BSE del granato 9 e delle inclusioni di quarzo

# Analisi SEM-EBSD



Pole Figures
[6.cpr]
Quartz-new (-3m)
Complete data set
8 data points
Equal Area projection
Upper hemispheres

Pole Figures
[6.cpr]
Quartz-new (-3m)
Complete data set
8 data points
Equal Area projection
Upper hemispheres

Figure polari degli assi cristallografici dei granati 2 e 6 (rosso) e delle inclusioni di quarzo (nero) del campione 05G-019B

# Analisi SEM-EBSD

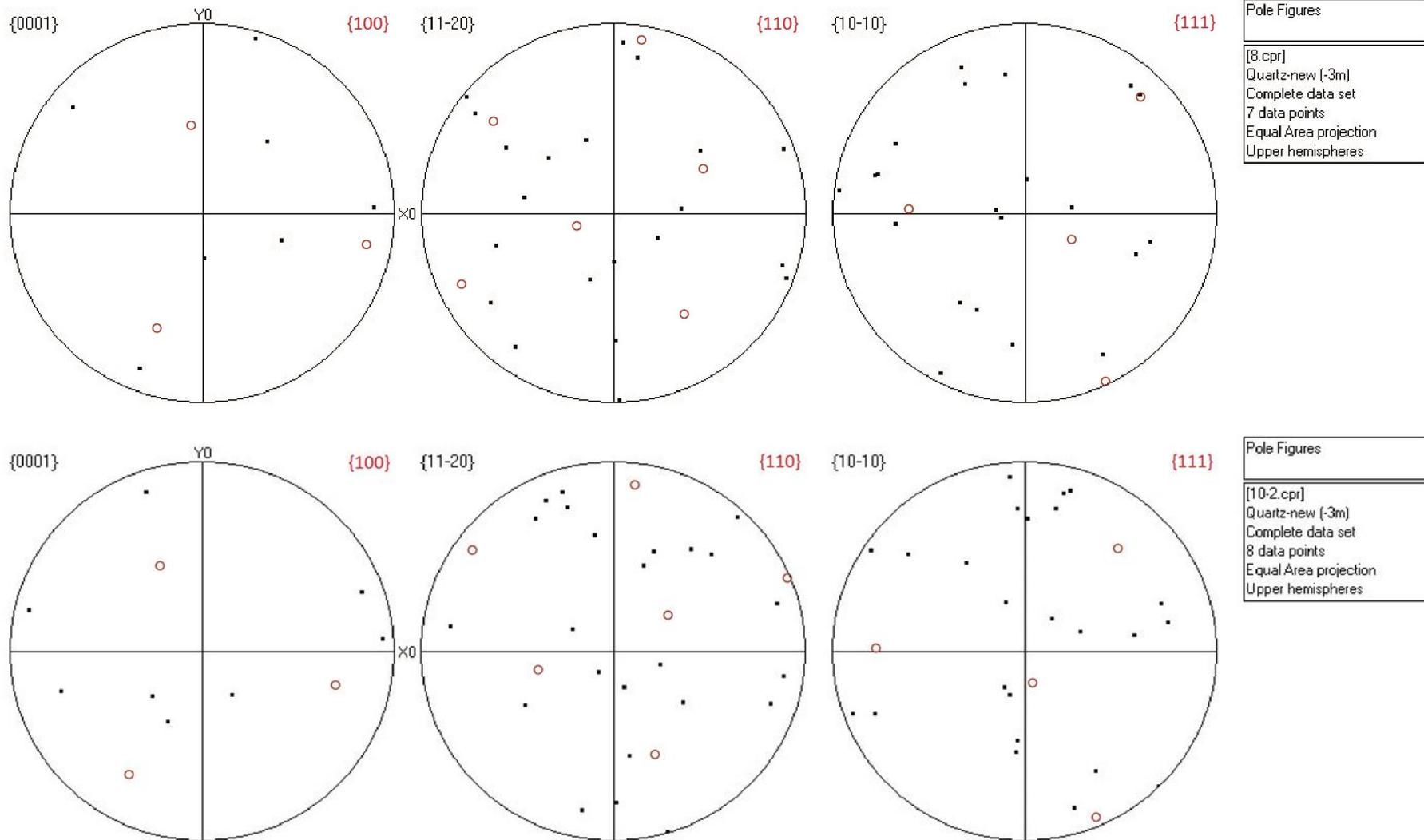
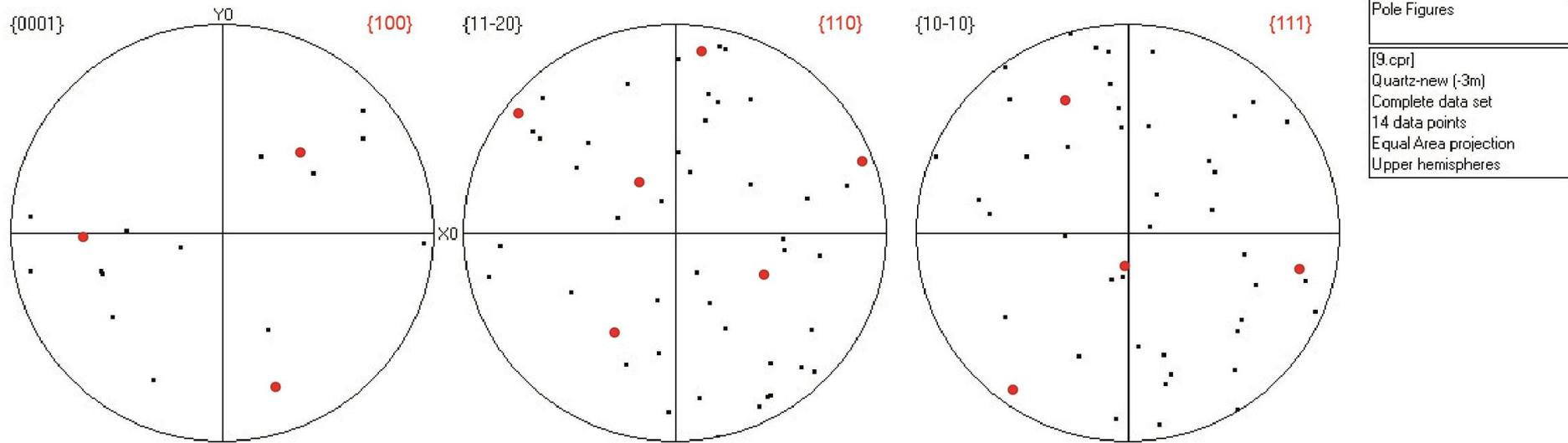


Figure polari degli assi cristallografici dei granati 8 e 10 (rosso) e delle inclusioni di quarzo (nero) del campione 05G-019B

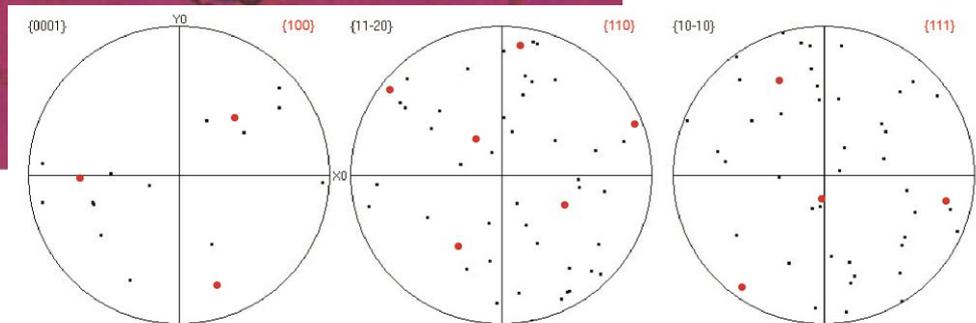
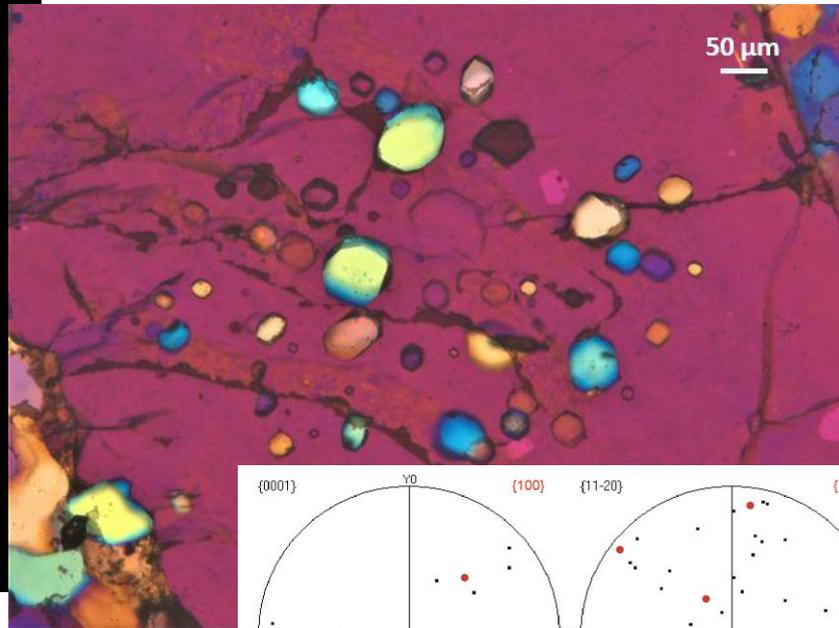
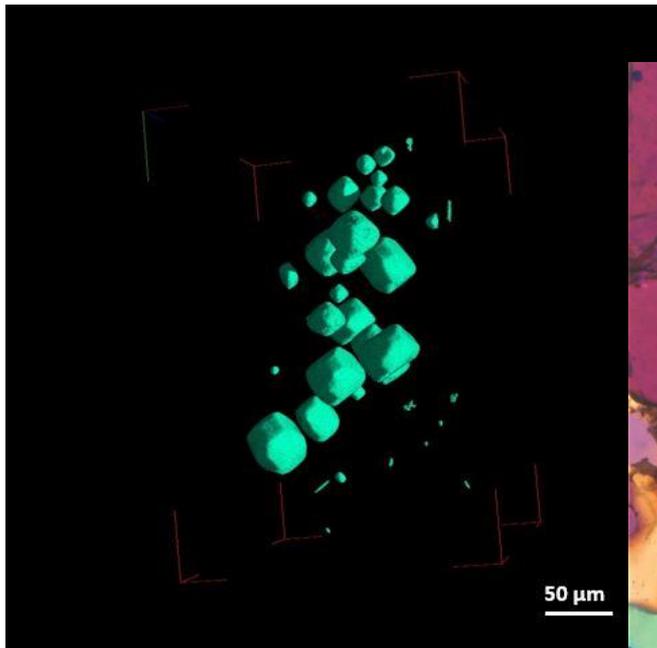
# Analisi SEM-EBSD



- **I cristalli di Qz e di Grt sono monocristallini**
- **Orientazione casuale degli assi cristallografici delle inclusioni quarzo**
- **Assenza di coincidenza tra direzioni cristallografiche di Qz e Grt ospitante**

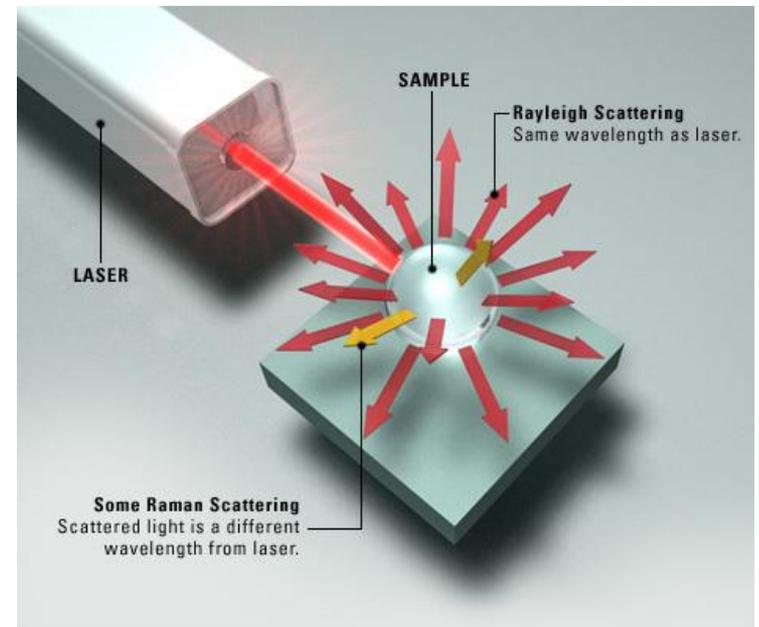
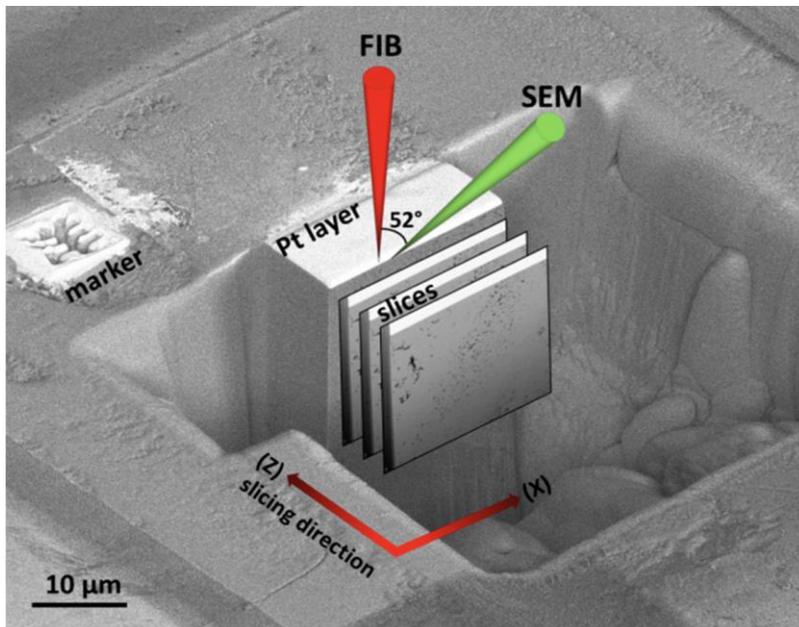
# Conclusioni

Le analisi al microscopio ottico e al SEM-EBSD indicano che le inclusioni di quarzo nei granati sono orientate casualmente tra di loro, e anche che non sono iso-orientate relativamente all'orientazione cristallografica del granato che le contiene.



# Possibili sviluppi futuri

- Estensione della casistica con analisi SEM-EBSD dei granati del campione NA10
- Analisi diretta mediante microspettroscopia RAMAN e analisi indiretta con microtomografia SEM-FIB per mettere in evidenza eventuali presenze di fluido nei grain boundaries.





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



DIPARTIMENTO  
DI GEOSCIENZE

**CORSO DI LAUREA IN  
SCIENZE GEOLOGICHE**

**Anno accademico 2018/2019**

**GRAZIE PER LA VOSTRA ATTENZIONE**